

都市鉄道のピーク需要分散策を念頭においた時刻別需要予測モデルの研究

本研究は、東京圏の都市鉄道のピーク需要分散策を念頭においた実務的価値の高い時刻別需要予測モデルの構築を目指した。この時刻別需要予測モデルは、混雑費用を効用関数に組み込んだ出発時刻選択モデルと企業の就業制度によって異なる出発時刻選択肢集合の選別モデル、BPR関数を応用した都市鉄道のリンクコスト関数から構成され、この3種のモデルを統合した確率均衡配分モデルによって30分単位の時刻別需要を予測するものである。これにより、フレックスタイム制度の推進、時間帯別料金制度の導入によるピーク需要分散効果が分析できることを示す。また、混雑緩和のための運行本数の増加が実際は利用者の効用低下を引き起こす可能性があることを指摘する。

キーワード | **出発時刻選択モデル, 選択肢集合選別モデル, リンクコスト関数, 利用者均衡配分**

岩倉成志
IWAKURA, Seiji

博(工) 芝浦工業大学工学部土木工学科教授

原田知可子
HARADA, Chikako

工修 (財)計量計画研究所情報システム研究室

1—はじめに

わが国の大都市圏を対象とした都市鉄道ネットワーク計画は、列車内の混雑緩和を最も大きな目標に掲げて策定されてきた。永年にわたって需要対応型の輸送力増強が進められ、ピーク時の混雑は改善方向に進んできているが、特に東京圏は現在も過酷な状況にある。また、混雑緩和のための運行本数の増加によってダイヤが過密化し、列車の遅延をまねいている¹⁾。利用者は混雑率の高い列車に、より長い時間乗車しなければならないという過酷な環境を強いられている。

このようなピーク時の輸送問題を抜本的に解決するためには、新線整備や線増が必要であるが、空間確保の困難さや、国、自治体の財源不足、鉄道会社の減益などにより、供給側の対策を早期に進めていくことは難しい。このため、需要側の対策も併せて行う必要がある。旧運輸省と旧労働省は快適通勤推進協議会を設置し、1993年から企業に対しフレックスタイム制度の導入を推進するキャンペーンを実施するなど、需要平準化のための活動が行われてきた。総合規制改革会議が2001年12月に答申した規制改革の推進に関する第1次答申²⁾では通勤鉄道の時間差料金制の導入検討の必要性が示されている。

以上で議論されている政策課題を分析するためには、列車速度と輸送力とのトレードオフからみた利用者の便益計測や、フレックスタイム制度、時間帯別料金制度などの需要分散策の効果を定量的に分析することが必要である。

これまで運輸政策審議会や地方自治体などで採用されている実務的な都市鉄道の需要予測システムは、終日の需要予測を行った後、ピーク率を使用して最混雑時間帯の混雑率を予測する方法が取られており、時々刻々の需要変動を分析することはできなかった。財務分析が必須である鉄道の需要予測は、精度よく終日の路線別需要を予測することが必要であり、そのための研究や調査が活発であった。道路交通を対象とした時間帯別の需要予測手法に関する研究には数多くの蓄積がある一方で、都市鉄道を対象とした時刻別需要予測手法を俯瞰した研究は少ない。

以上の背景から、本研究は、ピーク時の列車遅延を内生的に取り扱い、フレックスタイム制度や時間帯別料金制度による需要変動を予測する手法を検討することを目的とする。なお、実務での利用のしやすさを念頭におき、極力、既往技術を組み合わせた簡便なモデルを開発する。

以下、2. では、離散選択モデルによる出発時刻選択モデルを検討する。本モデルでは、混雑費用の変数を効用関数に組み込む。また、選択肢間の誤差相関の検討を行う。3. ではフレックスタイム制度適用者と非適用者など就業制度で異なる選択肢集合を推定するために、出発時刻の選択肢集合選別モデルを検討する。4. では列車の表定速度を表すリンクコスト関数を検討する。5. では以上のモデル群を用いて、確率的利用者均衡配分モデルを構築し、時間帯別料金制度など各種需要分散策による需要変動と社会的余剰を分析する。6. では本研究の知見と課題を整理する。

2——出発時刻選択モデル

2.1 既往研究とモデル検討の視点

出発時刻選択モデルの既往研究は、Bates³⁾やSteed and Bhat⁴⁾が詳しく整理している。出発時刻選択モデルのモデル構造としては、連続モデルと離散選択モデルとがあり、また、離散選択モデルでは、多項選択モデルとオーダーモデルの2つのタイプが主流である。時刻は本質的に連続的であるため、ハザードモデルに代表される連続モデルの使用が望ましいとも考えられるが、所要時間などの変数が選択肢集合の中で不連続に変化することや、社会経済属性の組み込みの困難さから離散選択モデルが利用されることが多い。離散選択モデルは、Cosslett⁵⁾の到着時刻を推定する5分間隔の12選択肢を目的変数とするロジットモデルに始まり、数多くの研究事例が存在する。ただし、ロジットモデルは誤差項が選択肢間で無相関とするiidの仮定が置かれているため、時刻を離散化する場合は、特に、隣接する選択肢間で誤差相関が発生する問題に注意を要する。この問題に対しては、Yai and Shimizu⁶⁾のプロビットモデルによる定式化の例や藤原ら⁷⁾のPCL (Paired Combinatorial Logit) モデルによる検討例がある。

近年は、Bhat⁸⁾の誤差相関を考慮可能で、かつ時間連続性を担保するオーダーGEVモデルや、杉恵ら⁹⁾によるオーダーモデルを適用した研究例がみられる。時間の連続性を考慮したモデル構造は、出発時刻選択の意思決定をより反映したモデルと言える。

本研究は、出発時刻選択モデルの研究例が少ない都市鉄道を対象とし、かつ実務での利用のしやすさを優先する立場から、ここでは研究例やアプリケーション技術が圧倒的に多く、かつ実務にも既に浸透しているロジットモデルを対象に既往研究を整理する。

出発時刻選択モデルの最もベーシックな変数は、所要時間、スケジュール早着、スケジュール遅着である。代表的なモデルの変数と精度についてみてみよう。Cosslett⁵⁾は、所要時間およびスケジュール早着とスケジュール遅着の確率変数を取り入れたモデルを構築して12選択肢で尤度比0.15、6選択肢で0.22を得ている。Abkowitz¹⁰⁾は、同一データを用いて、上記の変数に加えてBay Bridge通過者のロケーション変数や所得、年齢、職業の変数を組み込み、5分間隔の12選択肢で尤度比0.22のモデルを構築している。Small¹¹⁾も同一のデータを用い、スケジュール遅着に個人で異なる問題が発生する遅延時分、世帯構成、職種 (White Color) 等を組み込み、Abkowitzと同一の選択肢設定で尤度比0.24を得ている。Hendrickson and Plank¹²⁾は、モード選択と10分単位の出

発時刻選択の同時選択モデルを構築した。このモデルでは、上述の変数に加えて、スケジュール早着や遅着の変数を多項式とし非線形な変数としている。以上のモデルに共通してみられる問題は、所要時間のパラメータのt値が有意ではなく、スケジュール早着や遅着、いくつかのダミー変数が支配的なことである。Chin¹³⁾は、レベル1を15分間隔、レベル2を1時間間隔とするNLモデルを開発し、尤度比がMNLの0.1前後に比して0.3前後のモデルを構築している。このモデルは所要時間のパラメータも有意であった。以上の研究では、ベーシックな3変数に加えて、職業や所得などの社会経済変数が時刻選択に影響を与えるという示唆を与えている。ただし、この点はわが国の需要予測システムの開発経緯からみてデータ基盤は不十分と考えられ、モデル化に際しては注意が必要である。

わが国でも出発時刻選択モデルの開発は数多くなされているが、大半は自動車交通を対象としている。特に都市鉄道を対象とした先駆的なモデルとして家田ら¹⁴⁾の研究がある。このモデルは都市鉄道を対象にする際、必須と考えられる混雑不効用に加えて、起床時刻不効用や集団乖離不効用、余暇減少不効用など数多くの変数で構成されている。各パラメータとも有意であるが、10分間隔の36選択肢という非常に詳細なモデルということもあって尤度比は0.17程度である。なお、このモデルは列車の所要時間変動や時間帯別料金制度の効果計測を意図したモデルではない。

本研究のモデル構築の検討に向けた視点は次のようである。1) 効用関数に組み込む変数として、スケジュール早着、スケジュール遅着、運行本数増による遅延影響と待ち時間短縮とを反映する期待所要時間と混雑率指標、時間帯別料金制度の影響を反映する費用の5変数を基本とする。精度向上が期待できる社会経済属性は、実務でのデータ基盤と予測可能性の課題に配慮して組み込まない。2) 選択肢設定は大都市交通センサスの混雑率データの信頼性を鑑みて30分間隔を基本とする。3) 選択肢間の誤差相関の存在について確認を行う。

2.2 データの概要

需要データは2000年11月に行ったWeb調査である。(株)アサツーディケイのインターネット調査システムKNOTSのモニターを対象に調査を行った。調査票のうち出発時刻選択モデルに関連する項目として、始業時刻やフレックスタイム制度適用などの就業形態、1日の活動スケジュール(鉄道の乗車時刻等を含む)、通勤経路などのRP調査、時間帯別料金制度が実施された際の出発時刻の変更時刻に関するSP調査、個人属性の設問を用意

した。SP調査は、現在のサービス水準が変化しない仮定で時刻別にプライシングの額を設定し、乗車時刻を回答する形式とした。

本調査では、神奈川県在住の東海道本線沿線の通勤通学者221サンプルを得ているが、鉄道乗車時刻等の未回答など本分析に不適切なサンプルを除いた114サンプルの通勤者を抽出した。このサンプルは、男女比が6：4、平均年齢が35歳である。業務形態は、固定出勤制適用者が多く、フレックス制は2割弱であった。また、通勤者の出発時刻は、6：00～9：59の間に最初の鉄道に乗車し、東海道線の最混雑時間帯（川崎～品川間、7：50～8：50）に大半が集中しており、少ないサンプルではあるが、都市交通年報と整合している。

LOSデータは、上記の被験者の通勤利用経路に基づいて、時刻表（東京時刻表2000年10月、弘済出版社）によって、出発時刻6：00～9：59までの30分毎の所要時間データ（乗り換え時間も含む）と平成7年大都市交通センサデータを用いて、やはり30分ごとの駅間混雑率データを作成した。

2.3 パラメータ推定結果

出発時刻6：00～9：59までを30分毎に区切り、式(1)に示す8肢選択の非集計ロジットモデルを構築する。RPモデルの効用関数には、スケジュール早着TE(1/100分)、スケジュール遅着TL(1/100分)、所要時間LHT(1/100分)、混雑率指標CRI(1/10000分・%)を用いた。混雑率指標は駅間所要時間LHTに駅間混雑率CRを乗じ、乗車区間で加算した変数である。なお、フレックスタイム制度適用者のスケジュール早着および遅着のパラメータを0と設定した^{注1)}。

$$P_m = e^{V_m} / \sum_{j \in S_n} e^{V_j} \quad (1)$$

RPデータによって上記全変数を用い、パラメータを推定し、最終的に採択したモデルを表-1に示す。尤度比が0.3以上であり、この種のモデルとしては説明力が高い。異なる時刻で同一の定数項を使用しているが、これは定数項をすべて独立に推定した結果、パラメータに有意な差がない定数項を集約したためである。パラメータ推定過程において、LHTのパラメータの符号が正で有意とならなかった。なお、LHTは待ち時間を考慮した期待所要時間を変数とすべきで、その変数での推定も行ったが、本データでは有意な結果が得られなかった。TEとTLが支配的なパラメータで、尤度比は非常に高くなるが、両パラメータの相関が高く多重共線の疑いがあったためTEのみをとりいれた。

■表-1 出発時刻選択モデルの推定結果

	RP	SP	RP/SP
TE	-5.366 (-5.99)	-3.352 (-4.79)	-5.397 (-6.11)
CRI	-1.729 (-1.35)	-0.014 (-1.16)	-1.877 (-1.74)
PLP		-0.462 (-1.77)	-0.768 (-1.79)
RP 7:30	3.268 (3.24)		3.328 (3.44)
RP 7:00,8:00	3.050 (3.35)		3.096 (3.59)
RP 6:30,8:30	2.446 (3.07)		2.469 (3.14)
SP 7:30		2.712 (3.19)	4.301 (2.99)
SP 7:00,8:00		2.114 (2.76)	3.359 (2.63)
SP 6:30,8:30		1.833 (2.80)	2.937 (2.54)
μ			0.614 (3.91)
初期尤度	-119.989	-114.286	-234.275
最終尤度	-81.176	-92.866	-174.066
調整済尤度比	0.309	0.177	0.250
サンプル数	114	109	223

()はt値

列車遅延による効用低下を評価するためには、LHTが独立に組み込まれていることが望ましい。LHTのパラメータが有意でない理由として、東海道線の所要時間変動が小さいことがあげられる。筆者ら¹⁵⁾は2002年に別途、JR東海道線戸塚駅と小田急線新百合ヶ丘駅で現地配布、郵送回収方式のアンケート調査を行い、それぞれ出発時刻選択モデルを作成している。東海道線のLHTとCRIのパラメータは非常に不安定であるのに対し、列車の遅延が発生し、時刻によってLHTが大きく変化する小田急線では比較的感度の高いパラメータが得られている。なお、この小田急線のモデルは、本モデルのTLやCRIパラメータのオーダーと同等な結果が得られている。筆者らが数多くの都市鉄道の経路選択モデルを構築してきた経験から言えば、LHTのパラメータの感度は通常高いと考えられる。既往研究でも所要時間が有意とならない例が多いことからデータサンプリングには十分な注意を払う必要がある。

SPモデルは、RPモデルで採用した変数に時刻別の課金額PLP(1/100円)を加えて推定した。混雑率指標CRIのパラメータの説明力が不十分な理由として、PLPを設定しても混雑率が現在と変わらないと仮定して質問していること、被験者の変更希望先の時刻帯の混雑状況を知覚していないこと、時間帯によって追加的運賃がかかっても各被験者の出発時刻の選択肢集合が現状と変化しないと仮定していることなどが考えられる。

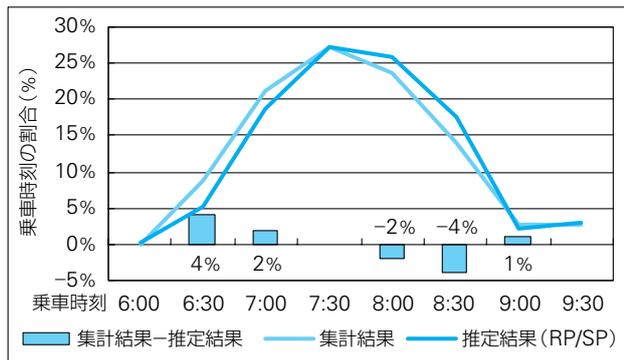
次に、実行動データから得られる信頼性の高いRPモデルと、現存しない政策を組み込めるSPモデルとを統合するRP/SP融合モデルを構築する。この方法は森川らが提案した¹⁶⁾。式(2)に示す尤度関数の第2項のスケールパラメータ μ によってSPモデルの誤差分散をRPモデルと整合させ、パラメータを推定する。パラメータ α 、 β 、 γ はそれぞれ式(2)のRPモデルおよび式(3)のSPモデルのパラメータである。

$$L^{RP+SP}(\alpha, \beta, \gamma, \mu) = L^{RP}(\alpha, \beta) + L^{SP}(\alpha, \beta, \gamma, \mu) \quad (2)$$

$$V_{in}^{RP} = \alpha TE_{in} + \beta CRI_{in} \quad (3)$$

$$V_{in}^{SP} = \alpha TE_{in} + \beta CRI_{in} + \gamma PLP_{in} \quad (4)$$

RP/SPモデルは尤度比も良好でRPモデル、SPモデルと比較してサンプル数の増加に従い、パラメータも有意になっている。図-1にRP/SPモデル出発時刻分布とアンケート回答者の実分布とを比較した結果を示す。全サンプルの集計値ではあるが、誤差は最大で4%程度であり、比較的精度良く推定されていることがわかる。



■図-1 RP/SPモデルの再現性

2.4 時刻間の類似性に関する検討

出発時刻選択モデルの選択肢間のIIA特性の問題は、Yai and Shimizu⁶⁾や藤原ほか⁷⁾で既に指摘されている。藤原ほかではPCLモデルを用いて出発時刻選択肢間のIIA特性の実証分析がなされ、類似性問題への対応の必要性が指摘されている。本研究では、プロビットモデルによって30分ごとの選択肢設定で誤差項の相関問題にアプローチしたい。

プロビットモデルは式(5)によって定式化され、式(6)の多項正規分布の分散共分散行列 Σ によって選択肢間の誤差相関が分析できる。本項では、式(7)のように隣り合う選択肢間同士の共分散パラメータを推定し、誤差相関の解析を行う。

$$P_{in} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{jn}) d\varepsilon_{jn} \dots d\varepsilon_{1n} \quad (5)$$

$$\phi(\varepsilon) = (2\pi)^{-\frac{J}{2}} |\Sigma|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \varepsilon \Sigma^{-1} \varepsilon^T\right] \quad (6)$$

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & & & & & & & & \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & & & & & & & \\ 0 & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & & & & & & \\ 0 & 0 & \sigma_{43} & \sigma_4^2 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{54} & \sigma_5^2 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{65} & \sigma_6^2 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{76} & \sigma_7^2 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{87} & \sigma_8^2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

まず、分散パラメータを1、共分散パラメータを0とし、iidプロビットモデルを構築したところ、RPモデルの最終尤度は-79.45となり、ロジットモデルの-81.18に比べて精度の向上がみられた。次に、隣り合う選択肢間の共分散パラメータすべてを推定した際、パラメータが発散したため解が得られていない。このため、いくつかの共分散パラメータの集約や共分散パラメータをマニュアルで設定して、最終尤度の変化を確認した。この結果、有意な共分散パラメータは得られないこと、選択肢1の6:00と選択肢2の6:30、選択肢6の8:00と選択肢7の8:30の共分散パラメータ感度が比較的大きくでる傾向にあったこと、最終尤度はiidプロビットに比して向上しないか、したとしても極めて微小な向上にとどまることがわかった。

(3)で述べた別途調査によって、筆者ら¹⁷⁾が出発時刻選択モデルの選択肢間の誤差相関をMIXEDロジットモデルを用いて検討した結果でも、15分間隔の選択肢設定を行ったモデルでは、オフピーク時間帯で選択肢間の誤差相関が計測されており、本研究と同様の結果となっている。また、選択肢を30分単位に集約してロジットモデルで推定した確定項のパラメータは、MIXEDロジットモデルのパラメータと類似している。利用者が選択している時間帯は細く区分して認知し、選択から離れた時間帯は集約して考えている状況を反映しているものと考ええる。

以上の検討から、選択肢を30分間隔とした場合には選択肢間の誤差相関の問題に神経質になる必要はないと考える。

3——出発時刻選択肢集合の選別モデル

3.1 既往研究とモデル検討の視点

出発時刻選択モデルを予測に適用する際には、時差出勤制やフレックスタイム制度の普及により個々人の選択肢集合が変化するため、選択肢集合の推定が決定的に重要である。Manski¹⁸⁾によって示された選択肢集合の推定を確率的に扱う一般式が式(8)である。

$$P_{in} = \sum_{S \in G} P_n(i|S) Q_n(S|G) \quad (8)$$

P_{in} : 個人 n の選択肢集合が S であったときの選択肢 i の選択確率

$P(i|S)$: 選択肢集合 S から選択肢 i が選択される条件付確率

$Q_n(S|G)$: 個人 n の選択肢集合が S である確率

G : 選択肢すべての部分集合(空集合を除く)

なお、森川ら¹⁹⁾は多肢選択の場合に膨大となる選択

肢集合の組み合わせの計算を効率的に行う方法を開発している。しかし、幸いにも出発時刻の選択肢集合は選択肢が連続した時間内にあると仮定でき、膨大な選択肢集合の組み合わせに悩まなくても済む。

以上の考えから本研究では、オーダードロジットモデルを応用した簡便な選択肢集合の選別モデルを構築する。

3.2 選択肢集合選別モデルの定式化

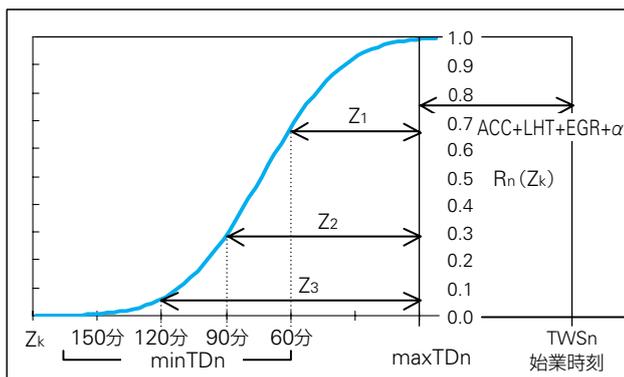
個人 n の出発時刻の選択肢集合 $Q_n(S|G)$ を、最も遅く出発する時刻 $\max TD_n$ と最も早く出発する時刻 $\min TD_n$ とに挟まれた時刻で、個人の始業時刻やフレックスタイム制度の適用状況によって確率的に変動するものと定義する。 $\max TD_n$ は式(10)に示す様に始業時刻 TWS_n から通勤時間 $(ACC+LHT+EGR+\alpha)$ を引いて得られる。ここで、ACCは自宅から駅までのアクセス時間、LHTはラインホール時間、EGRは駅から会社までのイグレス時間、 α は始業時刻に対する余裕時間や分析者側で設定しにくい通勤時間要素(駅構内での立寄り時間や詳細な乗換時間、待ち時間など)を補完するもので、アンケート結果と通勤時間の設定データとを比較して決定する。 $\min TD_n$ は式(11)に示す様に $\max TD_n$ から選択可能な時間幅 Z_k を引いて得られる。以上を図化したものを図一2に示す。 Z_k は式(12)に示す様に、確率的に変化すると考えた。ここで、 k は選択可能な時間帯のカテゴリーを表し、 η と $\max TD_n$ の時刻カテゴリー t の ξ_m はパラメータである。

$$Q_n(S|G) = f(\max TD_n, \min TD_n) \quad (9)$$

$$\max TD_n = TWS_n - (ACC_n + LHT_n + EGR_n + \alpha) \quad (10)$$

$$\min TD_n = \max TD_n - z_k \quad (11)$$

$$R_n(z_k) = \frac{1}{1 + \exp\{\eta(z_k - \xi_m)\}} - \frac{1}{1 + \exp\{\eta(z_{k-1} - \xi_m)\}} \quad (12)$$



■図一2 選択肢集合選別モデルの考え方

3.3 データ概要

本モデルに用いたデータは出発時刻選択モデルと同様に、2000年11月に行ったWeb調査である。最も早くできる乗車時刻と最も遅くできる乗車時刻の回答結果を利用する。アンケートから得られたデータの出発時刻の時間幅は60分から240分まで様々であるが、60分の幅をもつ被験者が概ね50%、90分幅の被験者が25%程度で、乗車時刻が遅い被験者ほど時間幅が増加し、多様化する傾向にある。

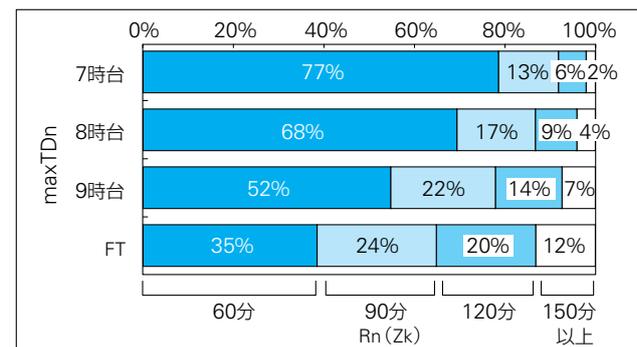
3.4 パラメータ推定結果

$\min TD_n$ を決定する式(9)の $+\alpha$ は、アンケート結果と通勤時間の設定データとを比較した結果、30分と設定することで80%以上の被験者が $\max TD_n$ の設定値に入ることから $\alpha=30$ とする。

式(12)のパラメータの推定結果を表一2に示す。モデル全体の精度もある程度確保され、各パラメータのt値も有意であることがわかる。図一3に固定始業時刻適用者の最遅出発時刻別とフレックス制適用者の選択可能幅の割合を示す。早く出発する人ほど60分幅の割合が多く、選択可能な幅が小さい。始業時刻が遅くなるほど選択可能な時間幅が広がる傾向にあることがわかる。また、フレックス制度の適用者は様々な時間幅をもっていることがわかる。この傾向はアンケート結果と整合している。なお、別途調査¹⁷⁾においても選択肢集合は始業時刻が遅い被験者やフレックスタイム制度適用者であるほど、時間幅が増加し、時間幅が多様化する傾向にあることがわかっており、本モデルを支持する結果となっている。

■表一2 出発時間幅 $R_n(Z_k)$ の推定結果

	パラメータ	t値
η	-1.945	(-7.31)
ξ_1 7:00	0.365	(1.20)
ξ_2 8:00	0.609	(3.80)
ξ_3 9:00	0.954	(3.96)
$\xi_{FlexTime}$	1.325	(6.42)
初期尤度	-158.038	
最終尤度	-126.603	
尤度比	0.199	
サンプル数	114	



■図一3 推計された出発時刻幅 $R_n(Z_k)$

4—列車速度モデルの構築

4.1 既往研究とモデル検討の視点

列車の速度変動をモデル化した研究は数少ない。岩倉ら²⁰⁾は、列車の追従走行による走行速度の低下と運行間隔の変動による乗降者数の変動が停車時間に与える影響とを動学モデルで表現している。しかし、初期に発生する予測誤差が後続列車に伝播し、その誤差が拡大するため、精度は不十分と言わざるを得ない。Higgins and Kozan²¹⁾は、列車の運行スケジュールの信頼性評価を行うために、列車の遅延現象を確率的に扱うモデルを構築している。Huisman and Boucherie²²⁾は、幹線鉄道と都市鉄道とが混合する線路での列車の遅延時分と遅延確率を導出する数理モデルを提案し、オランダの路線で適用研究を行っている。

これらの研究成果は都市鉄道の列車速度モデルを検討する上で、有益な知見を与えるものの時刻別需要予測への直接の適用は精度上課題が多い。4段階推定法に従う自動車交通の需要予測は追従理論によって車速を決定するわけではなく、より簡便で必要十分な精度が期待できるBPR関数が用いられる。本研究でも同様の立場からBPR関数をベースとする都市鉄道のリンクコスト関数を検討する。

4.2 リンクコスト関数の定式化

列車の速度を規定する要因は様々であるが、集約して大別すると、以下の2種類に整理できる。一つは、車両性能(台車性能、加速性能、ブレーキ性能)、構造物(軌道材料強度、分岐器強度・機能、土木構造物強度)、線路容量(線路数、閉そく区間長、信号性能、終端駅容量)、線形(勾配、曲率、軌間)で施設設計に依存する項目であり、列車運行の最短走行時分が規定される。もう一つは、運行計画(運行本数、緩急行比率、余裕時間設定)や輸送人員(乗降人数、車内混雑率)などの需要量に依存する項目で、これを勘案して運行ダイヤが策定される。

これをBPR関数に基づいて考えれば、前者がゼロフロー時の走行時間となる。列車の駅間最短走行時分は、運行計画時に用いられる運転曲線図(ランカーブ)を用いて設定できるため、既設線は当然のことながら、新線においても駅間の最短走行時分を設定することが可能である。後者は、道路容量に対する交通量の増加関数の考え方を応用して表現できると考える。鉄道の線路容量は、路線によって閉そく割や信号制御方式が異なり、同一線でも複雑区間と複雑区間が混在するが、これもBPR関数に準拠することで線路容量を明示的に扱うことができる。鉄道の場合は、駅間走行時分に駅での停車中の乗

降時分を加えることが必要となる。ここが道路のBPR関数と異なる点であり、需要量によって異なる乗降時分を推定する必要がある。

上記の考え方に従い、リンクコスト関数を定式化すれば、以下のような基本式が得られる。

$$t_a = t_l + t_s \quad (13)$$

$$t_l = t_{l0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_l}{c_l} \right)^\beta \right\} \quad (14)$$

$$t_s = \gamma x_{on} + \eta x_{off} + \zeta(\gamma x_{on} + \eta x_{off}) + \rho \quad (15)$$

式(13)の t_a は駅間所要時分、 t_l は駅間走行時分、 t_s は着側の停車時分である。 t_s を着側の停車時分とした理由は、リンクコスト関数の推定のために簡易に入手できるデータは、発時刻のみが記載されている時刻表と想定されるからである。ただし、運転用ダイヤが得られている場合や停車時分が実測されている場合は、 t_l と t_s とを分離して推定できるため t_s を着側と定義する必要はない。

式(14)の t_{l0} は駅間の最小走行時分であり、先述したように運転曲線図から得ることができる。運転曲線図の入手が困難な場合は、既存線であれば終日の最短の駅間所要時分を用いてやれば良い。両者には大きな差異はないといわれている。 x_l は当該列車の一定時間の前走列車の運行本数、 c_l は一定時間内の線路容量で最大運行本数とする。 c_l は線路容量の規定要因によって変化する。 α 、 β はパラメータである。

式(15)の x_{on} は1ドア当りの乗車人数で、 γ は一人当りの乗車時分を表すパラメータで、両者に乗ることにより乗車時分の合計となる。同様に、 x_{off} は1ドア当りの降車人数、 η は一人当りの降車時分のパラメータである。第3項は、列車が乗降時分以外に駅内で一定の調整時分を有し、乗降量に応じてその調整時分が変化するため用意した。乗降時分が少なければ長く、乗降時分が多ければ短くなるようにパラメータ ζ は推定されるべきである。

4.3 データ概要

都市鉄道のリンクコスト関数に関する検討例がないことから、遅延状況の異なる複数の路線や列車種別別にパラメータの推定特性の検討を行うこととした。対象とした路線とその区間はピーク、オフピークの所要時間差が大きい小田急小田原線(新百合ヶ丘駅～新宿駅)と東急田園都市線(長津田駅～渋谷駅)、所要時間差が少ないJR東海道線(藤沢駅～品川駅)、そして、中間的な東急東横線(横浜駅～渋谷駅)である。なお、東急東横線と東急田園都市線は緩行・急行両方の調査を行った。小田

急線は急行のみの調査である。調査時期は小田急線と東海道線が2000年11月、田園都市線、東横線が2001年11月である。

被説明変数となる駅間走行時分 t_l 、と駅停車時分 t_s の正確な運行データを取得するために観測調査を行った。調査時間はどの路線も概ねAM6:30~AM10:30で、この間の上り方向の列車を調査した。この観測値をもとに独自にダイヤグラムを作成し、列車ごと駅間ごとの t_l 、 t_s 、 t_0 を作成した。 t_s は列車の到着後のドアの開閉時間とした。観測した t_l は同一時間帯において微小な変動が存在する。しかし、出発時刻選択モデルの選択肢区分(30分間隔)を考えれば微小変動を表現することは不必要であり、安定的なパラメータも得られないと考え、当該列車の前後7分30秒間で t_l 、 t_s の移動平均をとり、平滑化処理を行った。

t_0 は終日の運行データから最小の駅間走行時分を用いるか、ランカーブより得られた駅間走行時分を用いることが望ましいが、本研究では便宜的に調査時間内に得られた駅間走行時分の最小値を用いた。ピーク時の駅間所要時分の推定モデルを作成する本研究の目的に照らせば、この便宜的な設定がもたらすバイアスは極めて小さいと考える。運行本数 x_l はダイヤグラムをもとに作成した。小田急線は各駅停車の観測データがないため、列車運行図表に観測した急行、準急列車を加えて作成した。

次に、1人当りの乗降時分となる γ 、 η は直接パラメータを推定する方法もあるが、本研究では実測値を用いる方法を採用した。特定のドアの乗車時分、降車時分、停車時分および乗降人数を観測した。駅勢圏人口や階段位置などによって各ドアの乗降量は異なるが、後述する大都市交通センサスの利用を考え、各路線の調査区間の中から平均的な乗降量の駅、車両位置、ドア位置を選んで観測した。観測の結果、乗降時分は総停車時分に対して強い正の相関をもつ一方で、乗降以外の停車時分は比較的分散し、かつ負の相関となった。この理由は、乗降客が少ない場合は駅でダイヤに合せた時間調整を行い、乗降客が多い場合はその調整時間を失うためである。

■表—4 各路線の遅延特性

調査対象区間			急行				緩行	
			小田急線 新百合~新宿	田園都市線 長津田~渋谷	東横線 横浜~渋谷	東海道線 藤沢~品川	田園都市線 長津田~渋谷	東横線 横浜~渋谷
t_l	区間長(平均駅間長)	km	21.5(3.6)	25.6(3.7)	24.2(2.4)	44.3(8.9)	25.6(1.2)	24.2(1.2)
	最小_平均_最大	sec/km	65.9_87.5_107.9	54.1_68.8_82.2	70.9_77.8_85.2	46.8_53.1_57.7	75.2_83.4_97.0	81.1_90.6_100.5
	遅延率	%	63.7%	52.0%	20.1%	23.4%	29.0%	23.9%
t_s	停車駅数		6	7	7	5	21	20
	最小_平均_最大	sec/駅	18.1_29.0_55.7	36.3_59.8_80.5	29.9_44.0_54.3	47.0_68.6_119.2	19.0_36.6_49.5	20.1_35.9_48.5
	遅延率	%	206.4%	121.6%	81.6%	153.6%	160.9%	141.3%
			$\sum t_l / \sum x_l$	$\sum t_s / \sum x_s$	$\sum t_l / \sum x_l$	$\sum t_s / \sum x_s$	$\sum t_l / \sum x_l$	$\sum t_s / \sum x_s$
			91.5%_8.5%	83.1%_16.9%	81.1%_18.9%	87.3%_12.7%	74.5%_25.5%	75.4%_24.6%

各駅の x_{on} と x_{off} は平成7年大都市交通センサスの鉄道定期券調査と鉄道普通券調査のマスターデータから、上り方向の駅別乗降者数を緩急行別に15分間隔で算出し、これを15分間の運行本数と編成車両数、1両当りのドア数で除して得た。このデータの作成方法の詳細は岩倉ら²³⁾を参照されたい。

4.4 パラメータ推定結果

各調査路線のパラメータ推定結果を表—3に、各路線の特性を表—4に示す。重相関係数Rによってモデルの精度をみると、急行の t_l は0.9以上で高い精度が確保できている。一方で、緩行の精度は十分ではない。 t_s の精度は東海道線を除いてかなり低い結果となった。駅間所要時間の t_a の精度は t_l と t_s の精度に依存するが、表—4の最下段に示す t_a に占める t_l と t_s の時間比が影響する。 t_l が80%以上を占める急行では精度が劣化しないのに対し、 t_s の精度が非常に低く、かつ t_s の時間比が高い田園都市線緩行の t_a の精度は大きく劣化している。

緩急行が同一線を共有する場合、急行の遅延が緩行の運行に影響するが、本モデルはその影響を考慮していないことが緩行の t_l の精度を低下させている原因と考える。運行計画の不確実性を表す遅延率をみると、遅延率が低い東横線に比べ、高い田園都市線でモデル精度が低いことが裏付けていると言えよう。また、 t_s の規定要因として乗降者数以外に前後の列車の遅延調整が考えられるが、これも本モデルでは考慮していないことが精度を劣化させている原因と考えられる。

■表—3 リンクコスト関数の推定結果

		急行				緩行	
		小田急線	田園都市線	東横線	東海道線	田園都市線	東横線
t_l	α	1.06	0.900	0.135	0.270	0.260	0.344
	β	2.21	2.94	0.0432	0.666	0.470	0.696
t_s	γ	0.992	1.26	0.610	1.16	1.26	0.61
	η	0.728	1.29	1.10	1.31	1.29	1.10
	ζ	-0.530	-1.01	-0.939	-0.690	-0.925	-0.155
	ρ	29.1	61.5	40.6	49.8	35.7	31.7
R	t_l	0.986	0.929	0.989	0.980	0.608	0.739
	t_s	0.196	0.022	0.058	0.855	0.055	0.214
	t_a	0.973	0.918	0.975	0.967	0.387	0.671

パラメータの感度を考察する。なお、 γ と η は先述したとおり観測結果から得たパラメータで、単位は秒/人である。 t_l は小田急線と田園都市線で比較的類似したパラメータが得られている。東横線と東海道線のパラメータ感度は低い結果となった。遅延率をみてわかるように、小田急線と田園都市線に比べ、東横線と東海道線の時間変動が大きくないことが影響している。また、遅延の余裕時分をみて t_{l0} を比較的長めにとっていれば、遅延を吸収できるためパラメータ感度が鈍くなる。表-4に示すように東横線の単位距離あたりの t_l の最小値が他路線に比べて長いことからその可能性が指摘できる。東海道線のように駅間長が長い場合も遅延を吸収しやすいため、パラメータ感度が鈍くなると言える。なお、推定されたパラメータの t 値はいずれのモデルも十分とは言えない。

以上、いくつかの課題は残されているものの、BPR関数によって一定の精度で列車速度を予測することができることを示した。予測に簡便に用いるためには異なる路線に移転可能な一般化されたパラメータが用意されることが期待される。しかし、現在のところは、路線ごとにパラメータを作成しておくことが望ましいと考える。

5——確率的均衡配分によるシミュレーション

以上の出発時刻選択モデル、選択肢集合選別モデル、リンクコスト関数を統合することで、どのような政策シミュレーションを行うことが可能かを述べたい。出発地を1地域(O)に固定し、到着地を2地域(D1とD2)とし、発着地を結ぶ路線を1路線とする仮定の都市圏を設定して検討する。

5.1 時刻別の需要予測と利用者便益の計測方法

式(16)に示す確率的利用者均衡配分によって各時刻の断面輸送人員を推計する。

■表-5 シミュレーションの設定

BASE	乗車時刻	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30
	運行本数	8	10	10	11	11	11	9	8
	輸送力	15720	19650	19650	21615	21615	21615	17685	15720
	始業時刻	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	FlexTime		
	始業割合	20%	25%	20%	15%	10%	10%D1・D2とも		
CASE 1	始業時刻	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	FlexTime		
	始業割合	20%	25%	15%	10%	5%	25%D1・D2とも		
CASE 2	始業時刻	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	FlexTime		
	始業割合	10%	20%	25%	20%	15%	10%D2のみ		
CASE 3	乗車時刻	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30
	追加運賃	-100	-50	0	100	100	100	-50	-100
CASE 4	乗車時刻	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30
	追加運賃	-100	-50	0	100	100	100	-50	-100
	始業時刻	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	FlexTime		
	始業割合	20%	25%	15%	10%	5%	25%D1・D2とも		
CASE 5	乗車時刻	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30
	運行本数	8	10	11	12	12	11	9	8

$$\min. Z(w) = \sum_t \left(C_{at} w_{at} - \sum_{ij} D_{ij} P_{ijt} \delta_{ijt}^a \right) \quad (16)$$

$$P_{ijt} = \sum_{S \in G} P_{ij}(t|S) \cdot Q(S|G) \quad (17)$$

$$P_{ij}(t|S) = f \left(TE_t, \sum_{ij} T_{at} \delta_{ijt}^a, \sum_{ij} T_{at} w_{at} \delta_{ijt}^a, F_t \right) \quad (18)$$

式(16)の C_{at} はリンク a の時刻 t における輸送力、 w_{at} は混雑率である。 D_{ij} は ij 地域間の需要量、 P_{ijt} は式(17)から求められる時刻 t の出発時刻の選択確率、 δ_{ijt}^a は ij 間でリンク a を通る場合は1、通らない場合は0となる。式(17)の $P_{ij}(t|S)$ は、2.3で示したRP/SP融合モデルから得られた効用関数をもつ出発時刻選択モデルで、式(18)のように表現される。なお、 S は出発時刻の選択肢集合を表し、式(18)の T_{at} は、式(13)のリンクコスト関数によって算定され、運行本数の増加に伴って、リンク所要時間が増加する。 TE_t はスケジュール早着、 F_t は時間帯別の追加運賃の変数である。以下のシミュレーションでは東海道線のリンクコスト関数を基本とするが、駅停車時分 t_s は0とした。 $Q(S|G)$ は、3.2の式(9)で示した出発時刻の選択肢集合選別モデルで推計する。

利用者便益は上記の確率的利用者均衡配分で得られた時刻 t の ij 間のOD需要と、式(18)から導出される一般化費用を用いて台形公式で推計する。

5.2 シミュレーションの設定条件

出発地側のOが東京圏の郊外、着地側のD1が業務核都市、D2が東京都心をイメージしている。Oの就業人口を20万人、これらの就業者のうちD1の従業員人口が5万人、D2が15万人とする。就業者は30分間隔で6:00~10:00の間の出発時刻(乗車時刻)を選択する。O、D1、

D2の空間位置は1つの路線上に配置され、駅間所要時間はOからD1の最小走行時分が30分、OからD2の最小走行時分が60分である。以上の設定のもとで、ベースケースとして表-5のBASEのように、始業時刻分布と輸送力を設定した。なお、始業時刻におけるフレックスタイム制度は10:00をコアタイムの開始時刻と設定した。運行本数、輸送力はともに30分単位の値である。線路容量は30分間で15本とした。

シミュレーションは5つのケースについて行った。CASE1はフレックスタイム制度

の適用者がベースケースの10%から25%に増加したケースである。CASE2は都心側のD2地域のみで時差出勤が進み始業時刻が全体に30分遅くなったケースである。CASE3は始業時刻分布をBASEのままとし、時刻別にプライシングをかけたケースである。CASE4はフレックスタイムが増加したCASE1の状況でプライシングをかけたケースである。CASE5は7:00~8:30の列車の運行本数を増加させたケースである。

なお、CASE5は運行本数の増加によって列車遅延が増加する状況を想定しているが、CASE4までで設定している出発時刻選択モデルの効用関数には乗車時間の変数が独立して組み込まれていない。このため、筆者ら¹⁵⁾が小田急線利用者を対象に構築した出発時刻選択モデルの乗車時間と混雑率指標とのパラメータバランスを参考に乗車時間のパラメータを-4.62として効用関数に加えている^{注2)}。また、リンクコスト関数も小田急線のリンクコスト関数を変更して試算する。

5.3 シミュレーション結果

各ケースの推計結果を図一4~8に示す。図中の折線はO→D1間の路線断面の混雑率を表す。縦棒は利用者便益を表す。

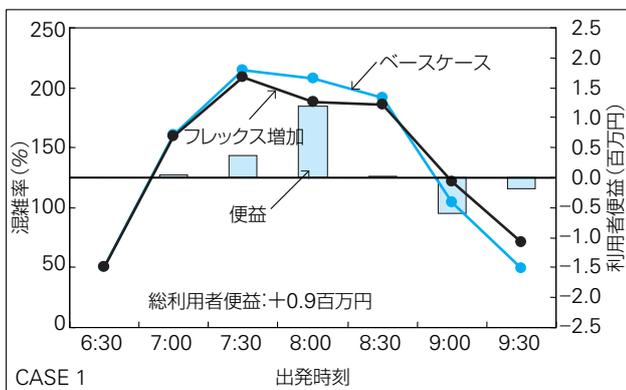
CASE1の推計結果を図一4に示す。フレックスタイム制度適用者の増加に伴ってピーク時間帯の混雑率が減少

するとともに、出発時刻分布が全体に遅い時間にシフトしている様子がわかる。また、利用者便益も混雑率の変化に対応している。

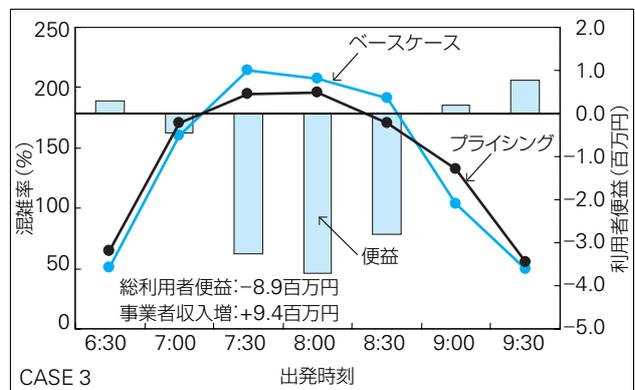
CASE2の推計結果を図一5に示す。このケースでは都心側のD2地域のみで時差出勤が促進されたため、D1地域への通勤者と出発時刻分布が重なり、混雑率のピークが高くなっている様子がわかる。この結果、総利用者便益もマイナスに計測された。時差出勤制度やフレックスタイム制度等の企業協力の推進はOD分布を考慮して実施する必要があるという点で示唆的である。

CASE3の推計結果を図一6に示す。時間帯別料金制度を導入すると、ピーク需要が低下し需要が平準化する方向に向かうが、多くの時間帯で利用者便益がマイナスとなる。ただし、運賃の増額に伴って鉄道事業者の収益が増加するため総便益はプラスになる。時間帯別料金制度が社会的余剰を増加させる施策であっても、利用者の賛同を得られにくい結果が表れている。

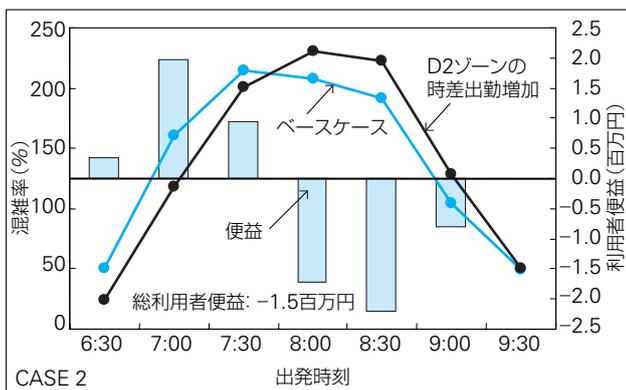
このため、図一7のCASE4ではフレックスタイム制度を増加させて時間帯別料金をかけてみた。この結果、時間帯別料金のみを導入するケースに比べて、需要の平準化が大きく促進されている様子がみとれる。また、フレックスタイム制度によって出発時刻の選択肢集合が拡大し、利用者にとっての自由度が増えることから、利用者便益も15%ほど改善する結果となった。従来から指摘されて



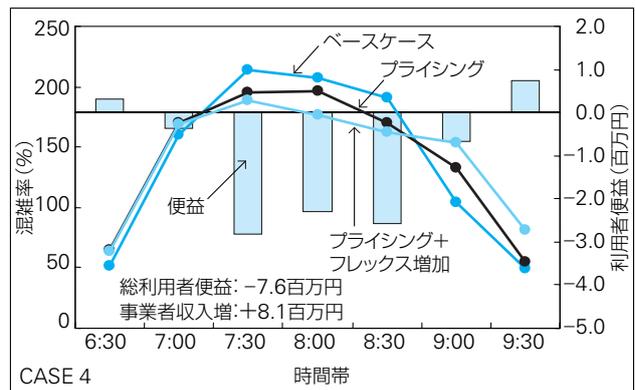
■図一4 フレックスタイム適用者の増加



■図一6 時間帯別料金制度の実施



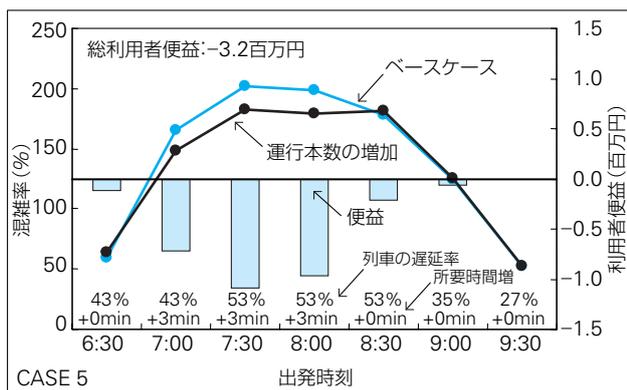
■図一5 D2ゾーンのみ時差出勤が増加



■図一7 プライシング実施とフレックス増加

いるように、社会的受容性という観点からは、時間帯別料金制度の導入は利用者の始業時刻の選択の自由度が高い就業制度が拡大した段階、または時間帯別料金制度によってそのような就業制度が拡大する可能性が高いタイミングで行うことが重要であることが、本研究の結果でも裏付けられた。

CASE5の推計結果を図—8に示す。リンクコスト関数を変更した結果、CASE5のベースケースでは最短走行時分に比して1.27~1.50倍の遅延が発生する。また、出発時刻選択モデルの効用関数に乗車時間の変数を加えた結果、ベースケースの混雑率分布がCASE4までのそれに比べて緩やかな分布になっていることがわかる。この状態からさらに7:00~8:30の列車の運行本数を増加させた結果、混雑率は減少するものの、運行速度の低下によって所要時間が増加し、結果的に利用者便益はマイナスと計上される。運行本数の増加による混雑率指標の限界効用の増加よりも、所要時間の増加による限界効用の減少が大きい場合には、このような結果^{注3)}となる。



■図—8 運行本数の増加

6—まとめと今後の課題

東京圏の都市鉄道を対象に、出発時刻選択モデル、選択肢集合選別モデル、リンクコスト関数、これらを統合した確率的均衡配分モデルによって時刻別需要予測モデルを構築した。既往技術を組み合わせ、実務において利用しやすい極力簡便なモデルとすることを念頭においた。また、いくつかのシミュレーションによって、都市鉄道のピーク需要分散策の効果について考察した。

主な結果を以下にまとめる。

(1) RPデータとSPデータとを融合した出発時刻選択モデルによって時間帯別料金制度の評価が可能なモデルを構築した。十分にLOSデータを精査したこともあり、既往研究に比して精度の高いモデルが構築できた

考える。また、30分単位の出発時刻選択モデルでは誤差相関に神経質になる必要がないことを示した。ただし、パラメータ精度はいくつかの問題が指摘できる。

1つ目は、所要時間と待ち時間のパラメータが有意とならなかったことである。既往研究でも所要時間のパラメータは不安定であり、サンプリングに細心の注意が必要と言える。そもそも利用者が所要時間変動を認知していないことも考えられるため、サービス水準の知覚値に関する分析も必要と考えられる。SP分析による所要時間と混雑率のトレードオフ関係の分析や、それをもとにしたパラメータ更新の技術検討も精度向上に貢献すると考える。

2つ目は、大都市交通センサデータから作成される混雑率データの精度の問題である。大規模とは言えサンプリングデータをもとに拡大されたデータを30分間隔まで分解して精度を担保することには限界がある。平成12年大都市交通センサでは自動改札データとの統合利用の検討が進められており、今後の精度向上が期待できる。なお、センサの調査票は始業時刻の設定がないが、これを加えることによってモデルの現況再現性の検討を行うことができる。

(2) 出発時刻の選択肢集合選別モデルをオーダーロジットモデルを用いて比較的簡便にモデル化することができた。ただし、時間帯別料金など交通サービス水準の変化によって利用者の選択肢集合が変化する可能性を分析できていない。

(3) 運行本数の増加に伴う列車速度低下をBPR関数を応用してモデル化した。急行系列車の駅間走行時分はかなり高い精度でモデル化することがわかった。しかし、駅停車時分の推定精度や時間調整の多い緩行列車の駅間走行時分は不十分と言わざるを得ない。1つは、前列車の遅延が次列車に与える影響や走行時間中の遅延を停車時間で取り戻すなどの相互関係を明示的に扱っていないことがあげられる。もう1つは、運行上の優先度が低い緩行列車のモデルで急行列車との混合による遅延発生メカニズムを組み込んでいない点である。モデルが複雑化し、かつ予測精度が劣化する可能性を嫌って、本研究では単純な構造のモデルを提案したが、改善の余地は多いと考える。

(4) 確率的利用者均衡配分によるシミュレーションによりいくつかの示唆が得られた。1つ目は、時間帯別料金制度の導入は、従来から指摘されているように、フレックスタイム制度など利用者の始業時刻選択の自由

度が高い就業制度が拡大してから実施することが効果的であり、かつ社会的受容性も高まるということである。2つ目は、地域ごとの従業人口と時間帯別のOD交通量を調査した上で、フレックスタイム制度や時差出勤制度の推進を行う必要があるということである。東京都心部を中心に企業協力を推進させた場合、郊外から業務核都市へ向かうトリップと通勤時間帯が重なる可能性が高く、却ってピーク需要が高まる危険性がある。3つ目は、線路容量に近い運行状況下でさらに運行本数を追加すると、列車速度の低下が大きいため、利用者の効用を一層低下させる可能性があるということである。

今後の課題を以下にまとめる。

- (1) 本研究では企業側の行動を検討していない。本研究では混雑費用は利用者がすべて支払うものと仮定しているが、わが国ではそのような状況は考えにくい。時間帯別料金制度が実施された場合の企業側の選択オプションとしては、追加運賃を従業員に支払う、追加運賃のかからない始業時刻に変更する、フレックスタイム制度や裁量労働制度を促進させる、対策を講じないなどのいくつかの企業判断が起こると考えられる。さらに、会社や社員寮の立地先を移転するような行動も考えられる。

なお、既に筆者らは、企業の利潤関数に時間集積性の経済を組み込み、企業の始業時刻の決定行動が、関連する産業や企業群の始業時刻との相互依存で表わされるゲーム理論を応用したモデルの開発に取り組んでいる²⁴⁾、²⁵⁾。

- (2) 本研究の枠組みから若干離れるが、時間帯別料金制度の社会的受容性に関する研究も重要な課題と考えている。利用者、企業、鉄道事業者にとって受け入れ可能な環境を検討することが必要である。本研究のアンケートや筆者らが別途調査で得た時間帯別料金制度の賛意に関する結果は全時間帯で増額する場合でも20%弱が賛成と答え、オフピーク時間帯に減額する場合には50%が賛成と答えている。利用者の心理作用や社会的相互作用、企業間の相互依存性に関する分析を深度化することは、時刻別需要予測モデルの推定精度の向上にも貢献するものとする。

謝辞：輸送力増強による混雑緩和と列車速度低下のトレードオフ分析や、企業の始業時刻分布を一律ではなく従業地別に決定しなければ混雑がさらに悪化する可能性などを分析するための本システムの発想は、森地茂運輸政策研究所長の指摘が発端になっている。リンクコスト関数は渡辺将一郎氏と小淵竜夫氏(ともに前芝浦工業大学)の調査分析の協力に負うところが大きい。大都市交通センサスの30分間隔の断面交通量は(株)ライテックの土居厚司氏に作成いただいた。JR東日本、小田急電鉄、東急電鉄には実測調査をご快諾いただいた。(株)サーベイリサーチセンターにはWeb調査の実施にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

注

- 注1)フレックスタイム制度適用者の始業時刻の自由度は高いと考えられること、本研究ではサンプル数が十分でないことから、既往研究を参考にスケジュール早着および遅着のパラメータを0とした。ただし、これは積極的に支持されるものではなく、フレックスタイム制度適用者のパラメータ推定を試みることを望まれる。当然、そのパラメータ感度は固定出勤制適用者よりも低くなるべきである。
- 注2)本研究では、単純にパラメータを追加して効用関数を作成しているが、本来であればバイズ更新に代表されるように、異なるデータに基づいて推定された効用関数のパラメータとその分散を用いて、再推定すべきである。
- 注3)本研究では、結果的に出発時刻選択モデルに運行本数に依存する待ち時間のパラメータが推定できていない。本来CASE5のシミュレーションでは運行本数増加に伴う待ち時間減少の便益が推定されていないため、過小推計の可能性がある点に注意を要する。

参考文献

- 1) 東京圏鉄道整備研究会編[2000] 東京圏の鉄道のあゆみと未来[解説]—運輸政策審議会答申第18号—「東京圏における高速鉄道を中心とする交通網の整備に関する基本計画」, 運輸政策研究機構
- 2) 規制改革の推進に関する第1次答申[2001], 総合規制改革会議
- 3) Bates, J.[1996] Time Period Choice Modelling: A Preliminary Review, Final Report for the DOT-HETA Division
- 4) Steed, J.L. and Bhat C.R.[2000] Modeling Departure Time Choice for Home-Based Non-Work trips, Research Report SWUTC/00/167500-1, The University of Texas at Austin
- 5) Cosslett, S.[1977] The Trip Timing Decision for Travel to Work by Automobile, In Demand model and Validation (D. Mcfadden et al), Special Report UCB-ITS-SR-77-9, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley
- 6) Yai, T and Shimizu, T[1998]: Multinomial Probit with Structured Covariance for Choice Situations with Similar Alternatives, Transportation Research Record, 1645, pp.69~75
- 7) 藤原章正, 神田佑亮, 杉恵頼寧, 岡村敏之[2000] 時刻選択モデルの選択肢区分が選択肢間の類似性及び不均一性に及ぼす影響, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.599~604
- 8) Bhat, C.R.[1998] Analysis of travel mode and departure time choice for urban shopping trips, J. Transpn Res.-B, Vol. 32B, pp. 361~371

- 9) 杉恵頼寧ほか[2002]フレックスタイム制度の導入が会社・退社時刻選択行動に及ぼす影響, 土木計画学研究・論文集, No.19,383~390
- 10) Abkowitz,M.D.[1981] An Analysis of the Commuter Departure Time Decision,Transportation,Vol.10,pp.283~297
- 11) Small K.A.[1982] The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips, American Economic Review, Vol.72, No.3, pp.467~479
- 12) Hendrickson,C. and Plank,E. [1984] The Flexibility of Depature Time for Work Trips, J. Transpn Res.-A, Vol.18A, No.1, pp.25~36
- 13) Chin A. [1990] Influence on Commuter Trip Departure Time Decisions in Singapore, J. Transpn Res.-A, Vol.24A, No.5, pp.321~333
- 14) 家田仁, 土谷和之, ファン レ ビン, 岡村敏之 [2002] 大都市圏鉄道需要の時刻集中特性予測モデルの構築と首都圏鉄道ネットワークへの適用, 土木学会論文集, No.702/IV~55, pp. 65~79
- 15) 原田知可子, 鈴木修司, 岩倉成志 [2003] 最寄駅までのアクセス交通を考慮した都市鉄道の出発時刻選択モデルの構築, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部Vol.58,CD-ROM
- 16) 森川高行, Moshi Ben-Akiva [1992] RPデータとSPデータを同時に用いた非集計行動モデルの推定法, 交通工学, 第27巻4号
- 17) 岩倉成志, 原田知可子, 鈴木修司 [2003] 都市鉄道利用者を対象とした出発時刻選択モデルの選択肢設定に関する基礎的考察, 土木計画学研究・論文集, No.20, pp.485~492
- 18) Manski,C.[1977] The Structure of Random Utility Models, Theory and Decision, Vol.8, pp.229~254
- 19) 森川高行, 竹内博史, 加古裕二郎 [1991] 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.117~124
- 20) 岩倉成志, 森地茂, 伊東誠 [1996] 都市鉄道輸送改善シミュレータの試案, 土木計画学研究・講演集, No.19 (2), pp.717~720
- 21) Higgins A. and E.Kozan [1998] Modeling train delays in urban networks, Transportation Science Vol.32, No.4, pp.346~357
- 22) Huisman,T. and Boucherie R.J.[2001] Running times on Railway sections with Heterogeneous Train Traffic, J. Transpn Res.-B, Vol.35, pp.271~292
- 23) 岩倉成志, 渡辺将一郎, 土居厚司 [2000] 都市鉄道の時刻別需要予測のためのリンクコスト関数の開発—小田急小田原線を対象に—, 土木計画学研究・論文集No.17,pp. 709~714
- 24) 原田知可子, 鍋山弘道, 岩倉成志 [2004] ゲーム理論を用いた企業の始業時刻推定手法に関する研究, 土木学会第59回年次学術講演会概要集CD-ROM
- 25) 柳沼秀樹, 岩倉成志 [2005] N人ゲームによる企業の始業時刻決定モデルの構築, 土木学会第60回年次学術講演会概要集CD-ROM

(原稿受付 2005年1月28日)

A Model System of Departure Time Choice for Commuter Trips by Metropolitan Railway

By Seiji IWAKURA, Chikako HARADA

The objective of this paper is to develop a model system of departure time choice for commuter trips in Tokyo metropolitan area, for forecasting urban railway passenger travel demand. There are few comprehensive departure time choice model systems in consideration of urban railway policies for practitioners. This model system is composed of an integrated combination of departure choice model, time of day choice set generation model and link cost model. By using this model system, we can measure the effectiveness of demand management policies such as flexible work time system, congestion charging. Furthermore, the increase in the number of train operation to reduce peak period congestion may cause decrease of user's utility can be pointed out.

Key Words ; **departure time choice, choice set, running time, stochastic equilibrium, urban railway**
